光ファイバ瞬きセンサ†

瀧澤 由佳子*・才木 常正*

北川 洋一*・林 昭博**

Fiber Optic Eye Blinking Sensor†

Yukako TAKIZAWA*, Tsunemasa SAIKI*,
Yoichi KITAGAWA* and Akihiro HAYASHI**

A new eye blinking sensor with an optical fiber probe is described. Characteristics of this sensor are investigated in terms of eye parameters and iris movements on the basis of a detection model. By using an optical fiber, a useful eye blinking sensor can be simply constructed.

Key Words: eye blinking, sensor, optical fiber

1. はじめに

瞬きは疲労、覚醒水準、緊張度などを知る指標のひとつとして計測されており¹⁾、簡便に瞬きを計測できるセンサが求められている。従来の瞬き計測方法として、目の周囲に検出素子を張り付ける方法²⁾やカメラで撮影された目の画像を解析する方法^{3),4)}などが報告されている。しかし、前者では張り付けた検出素子による違和感が生じ、後者では一般に検出装置が大きくなる。また、比較的簡便な瞬き計測方法としてフォトダイオードなどの光センサを用いる方法⁵⁾が提案されているが、詳しい検出特性は報告されていない。

一方、光ファイバはそれ自身の特性として受光角内で入射した光を伝送できる特性をもっており、光ファイバを用いることにより受光範囲を制限することができる。また、光ファイバは軽量、細径であり、電磁雑音などの耐環境性にも優れている。光ファイバをセンサヘッドに用いると受光部と信号処理部を分離することができる。このため、光ファイバを用いた多くのセンサが報告されている⁶⁾。

本論文では、光ファイバを用いて簡便に瞬きを計測できる光ファイバ瞬きセンサを提案する。本センサは1本の光ファイバを用いた簡単な構成であり、検出部の光ファイバをめがね型フレームに取り付け、これを頭部に装着して使用することができる。以下では、光ファイバの受光特性と目のモデルにもとづく検出モデルを設定し、それにより求めた本センサの検出特性について述べる。また、その有用性を確認した実験結果について述べる。

Fig. 1 Schematic diagram of a fiber optic eye blinking sensor

Fig. 2 Eye model for evaluating sensor characteristics

2. センサの構成と検出モデル

光ファイバ瞬きセンサの構成と検出原理を Fig. 1 に示す。目の正面前方に設置した光ファイバにより目とその周囲からの光を受光する。そして、受光量を電圧に変換し、A/D 変換してコンピュータに取り込み信号処理する。このとき開眼時と閉眼時の受光量差により瞬きを検出する。

本センサの検出モデルをつぎのように考える。Fig. 1 に示す座標に対して、目とその周囲の明度分布を $f(x, y)$ 、光ファイバの受光強度分布特性を $g(x, y)$ とする。このとき、光ファイバの受光量 I は $f(x, y)$ と $g(x, y)$ の積を光ファイバの受

† 第 40 回 SICE 学術講演会で発表 (2001・7)

* 兵庫県立工業技術センター 神戸市須磨区行平町 3-1-12

** 神戸市立工業高等専門学校 神戸市西区学園東町 8-3

* Hyogo Prefectural Institute of Industrial Research, Kobe

** Kobe City College of Technology, Kobe

(Received September 25, 2001)

(Revised April 1, 2002)

光角で決まる範囲で積分した次式で与えられる値とする。

$$I = \iint_S f(x,y)g(x,y)dxdy \quad (1)$$

ここで、光ファイバと目との距離を l 、光ファイバの受光角を 2θ とするとき、積分範囲 S は l と θ で決まる受光半径 $a = l \tan \theta$ の円の内部である。

(1) 式を用いて開眼時の受光量 I_{open} と閉眼時の受光量 I_{close} を求めるため、Fig. 2 に示す簡単な目のモデルを考える。開眼時には白目を長軸 W 、短軸 H の楕円形、黒目を直径 D の円形とし、白目の外部を肌とする。また、閉眼時には肌のみとする。これらに対し、白目、黒目および肌の明度をそれぞれ r_1 、 r_2 、 r_3 とし、開眼時と閉眼時の $f(x,y)$ を与える。また、 $g(x,y)$ については、光ファイバから LED 光を出射したときの出射光強度分布を実測し、それをガウス分布で近似する。これらの $f(x,y)$ 、 $g(x,y)$ の値を用いて、開眼時と閉眼時の受光量を求めることができる。

3. 検出特性

ここでは先に述べた検出モデルを用いて開眼時と閉眼時の受光量による検出特性を検討する。 $f(x,y)$ を与える目のパラメータは個人によって異なる。そこで、デジタルカメラで10人の被験者の目のパラメータを測定し、目のパラメータの標準値およびそのばらつきを表わす標準偏差を決定した。これらの値を Table 1 に示す。なお明度は白目の明度 r_1 で規格化した白目、黒目、肌の規格化明度 $R_1 = 1.0$ 、 $R_2 = r_2/r_1$ 、 $R_3 = r_3/r_1$ を用いた。これらの標準値を用いたときの検出特性を本センサの標準検出特性と呼ぶことにする。一方、 $g(x,y)$ は光ファイバからの出射光強度分布の測定により、スポットサイズ $w = a/1.76$ のガウス分布とした。これは受光

半径 $a = 1.76w$ で強度がほぼ 0 となるガウス分布である。

検出モデルを用いて計算により求めた受光半径 a に対する受光量比 I_{open}/I_{close} の標準検出特性を Fig. 3 に示す。 a が大きくなると I_{open}/I_{close} は増加する。本センサでは I_{open}/I_{close} が小さいほど、開眼と閉眼の判別を安定に行なえる。Fig. 3 より一定の受光量比 I_{open}/I_{close} を得るための受光半径 a が決まる。このとき、 $a = l \tan \theta$ より、光ファイバの受光角 2θ が与えられると光ファイバの設置距離 l が定まる。そこで、 θ が小さい光ファイバを用いると光ファイバの設置距離 l を大きくとることができる。

つぎに、目のパラメータが標準値より変わったときの検出特性について検討する。目のパラメータ W 、 H 、 R_2 および R_3 の一つを Q とし、 Q がその標準値 M_Q から Table 1 に示す σ_Q の $\pm 2\sigma_Q$ の範囲で変わったときの受光量比 I_{open}/I_{close} の変化を Fig. 4 に示す。ここでは Fig. 3 の標準検出特性において、 I_{open}/I_{close} の値が 0.8、0.5 となる a の値 $a_{0.8}$ 、 $a_{0.5}$ 、および I_{open}/I_{close} の値が最小となる a の最大値 a_{opt} における I_{open}/I_{close} の変化を示している。本センサにおいて、瞬きによらない受光量の変動として閉眼時の受光量の $\pm 5\%$ を許容するとすると、開眼と閉眼を判別するには $I_{open}/I_{close} < 0.9$ である必要がある。受光半径 $a_{0.8}$ の構成においてもこれを満足しており、 $\pm 2\sigma_Q$ の範囲で目のパラメータが変化しても本センサは開眼と閉眼を判別できることがわかる。

黒目が移動すると開眼時の受光量 I_{open} が変化する。この

Table 1 Standard values and standard deviations of eye parameters determined by experiments

Eye parameter Q	W [mm]	H [mm]	D [mm]	R_2	R_3
Standard value M_Q	25.0	9.0	12.0	0.2	0.95
Standard deviation σ_Q	1.7	1.5	0.6	0.04	0.11

Fig. 3 Standard characteristics of eye blinking detection

Fig. 4 Ratio of light intensities I_{open}/I_{close} for the deviation of eye parameters, where Q is one of W , H , R_2 and R_3

Fig. 5 Ratio of light intensities I_{open}/I_{close} for iris movements

ときの受光量比 I_{open}/I_{close} の変化を Fig. 5 に示す。原点からの黒目の中心の移動距離を η ，移動方向の水平からの角度を α とする。 η が大きくなると I_{open}/I_{close} は大きくなる。また、 α が大きくなると I_{open}/I_{close} は大きくなる。図中における 2β の点線は頭を動かさずに視野角 2β の対象をみたときの実験により求めた η を示している。 $2\beta = 50^\circ$ の範囲を考えると、 $I_{open}/I_{close} < 0.9$ となっている。これより、瞬きによらない受光量の変動が $\pm 5\%$ 以内のとき、受光半径 $a_{0.8}$ の構成においても黒目の移動に対して本センサは開眼と閉眼を判別できることがわかる。

Fig. 6 Experimental result of light intensities

4. 実験

設定した検出モデルによる検出特性の有用性を確認するため、コア径 0.98mm，受光角 $2\theta = 60^\circ$ のプラスチック光ファイバを用いて実験を行なった。ここでは検出特性を確認することを目的としているため、被験者の頭部を固定し、光ファイバを微動台に取り付けて被験者の黒目の正面中央前方に設置した。そして、光ファイバの設置距離 l に対する開眼時と閉眼時の出力電圧を測定し、あらかじめ求めておいた出力電圧と受光量の関係より受光量比 I_{open}/I_{close} を求めた。実験結果を計算値と共に Fig. 6 に示す。ここで、実験値は 3 秒間の平均値であり、計算値は被験者の目のパラメータを用いて計算した値である。実験値と計算値の間には比較的良好一致がみられ、本検出モデルによる検出特性の有用性を示している。

5. まとめ

光ファイバを用いて簡単に瞬きを計測できる光ファイバ瞬きセンサを提案した。本センサの検出特性を検討するため、光ファイバの受光特性と目のモデルにもとづく検出モデルを設定した。そして、目のパラメータの標準値を定め、そのときの閉眼時の受光量に対する開眼時の受光量比を表わす標準検出特性を示した。つぎに、目のパラメータが標準値から変化したとき、および黒目が移動したときの検出特性を明らかにし、これらの変化に対しても開眼と閉眼を判別できることを示した。また、実験により設定した検出モデルによる検出特性の有用性を確認した。

本センサは 1 本の光ファイバを用いた簡単な構成であり、環境光の変化に対する対策をしていない。この対策についてはあらためて報告することにしたい。

謝辞 光ファイバをご提供いただいた三菱電線工業(株)の奥田一郎氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 田多, 山田, 福田: まばたきの心理学, 北大路書房 (1991)
- 2) M. Takagi, M. Katoh, K. Mohri and S. Yoshino: Magnet Displacement Sensor Using MI Elements for Eyelid Movement Sensing, IEEE Trans. Magn., **29**-6, 3340/3342 (1993)
- 3) 小澤, 青竹, 下田, 福島, 吉川: Eye-Sensing HMD を利用したリアルタイム視点位置・瞬目検出, 計測自動制御学会論文集, **37**-8, 687/696 (2001)
- 4) 田辺, 杉山: 色度と明度情報を用いた瞬目検出法の提案, 電子情報通信学会論文誌, **J77-D-II-2**, 470/472 (1994)
- 5) 宇津木成介: 認知活動と瞬目—赤外線 LED メガネの試作と検討—, 日本心理学会第 53 回発表論文集, 483 (1989)
- 6) B. Culshaw: Fiber Optics in Sensing and Measurement, IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron., **6**-6, 1014/1021 (2000)